

? t s10/7/all

10/7/1

DIALOG(R)File 347:JAPIO

(c) 2001 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

06221961 **Image available**

FORMATION OF MULTILAYER *INTERCONNECTION* STRUCTURE PROVIDED WITH A
LANDLESS VIA HOLE AND GASEOUS DIELECTRIC

PUB. NO.: 11-163523 [JP 11163523 A]
PUBLISHED: June 18, 1999 (19990618)
INVENTOR(s): SUN SHIH-WEI
APPLICANT(s): UNITED MICROELECTRON CORP
APPL. NO.: 09-304480 [JP 97304480]
FILED: November 06, 1997 (19971106)

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for forming multilayer
interconnection structure, which has a landless via hole for interlayer
connection and uses air as dielectric between the wirings.

SOLUTION: A carbon layer is deposited on the surface of an insulator and a
groove corresponding to a wiring pattern is formed on the surface of the
carbon layer. A metal is supplied into the groove and onto the surface of
the carbon layer, and a first layer wiring 66 is obtained by the subsequent
chemical mechanical polishing process. Carbon ashing or etch back process
is performed on the carbon layer, and the surface of the carbon layer is
made lower than the wiring plane. An oxide capping layer 70 is formed on
the wiring plane and on the surface of the recessed carbon layer. The
carbon layer is consumed and removed by the oxidation process through the
capping layer 70, and an *air* *gap* 74 is formed. Then, a silicon nitride
etching stop layer 72 is formed on the surface of the capping layer 70, and
a dielectric layer 76 is formed on the capping layer 70. After filing a via
hole with a metal plug 78, a second layer wiring 80 is formed.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

10/7/2

DIALOG(R)File 347:JAPIO

(c) 2001 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

05950349 **Image available**

MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR DEVICE

PUB. NO.: 10-233449 [JP 10233449 A]
PUBLISHED: September 02, 1998 (19980902)
INVENTOR(s): INABA TAKASHI
APPLICANT(s): NEC CORP [000423] (A Japanese Company or Corporation), JP
(Japan)
APPL. NO.: 09-036479 [JP 9736479]
FILED: February 20, 1997 (19970220)

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent a through hole from communicating with an

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-163523

(43)公開日 平成11年(1999)6月18日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

H05K 3/46

H01L 23/12

F1

H05K 3/46

H01L 23/12

N

Q

審査請求 有 請求項の数38 OL (全10頁)

(21)出願番号 特願平9-304480

(22)出願日 平成9年(1997)11月6日

(71)出願人 597065477

聯華電子股份有限公司

台湾臺灣省新竹市科學工業園區工業東三路
三號

(72)発明者 孫 世偉

台湾台北市仁愛路四段 300巷26弄33號5
樓

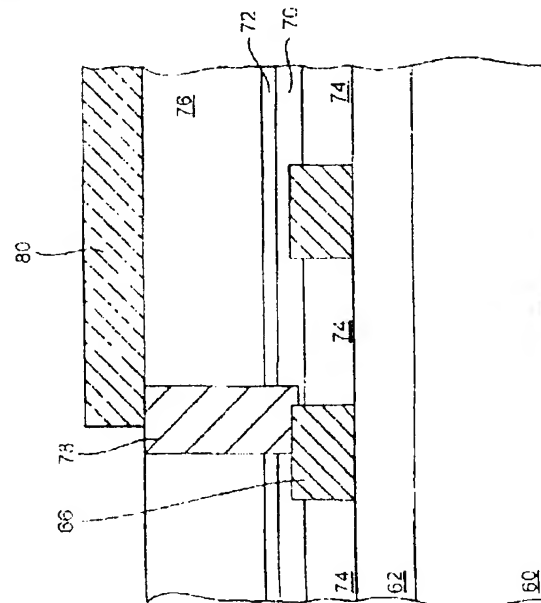
(74)代理人 弁理士 西川 恵清 (外1名)

(54)【発明の名称】 ランドレスバイアホールとガス誘電体を備えた多層間接続構造の形成方法

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 層間接続用のランドレスバイアホールを有し、かつ配線間の誘電体として空気を使用している多層間接続構造の形成方法を提供する。

【解決手段】 炭素層が絶縁体表面上に蒸着され、炭素層の表面に配線パターンに対応する溝が形成される。金属が溝内、および炭素層の表面に供給され、その後の化学的機械的研磨プロセスにより第1層配線70が得られる。炭素の灰化あるいはエッチバックプロセスが炭素層に施され、配線面よりも炭素層の表面を低くする。酸化物キャッピング層72が配線面上およびその凹んだ炭素層の表面に形成される。炭素層は酸化プロセスによりキャッピング層72を介して消耗除去され、エアギャップ74が形成される。次に、窒化珪素のエッチング停止層76がキャッピング層72の表面に形成され、さらにその上に誘電体層78が形成される。バイアホールを金属プラグ78で満たした後、第2層配線80が形成される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】第 1 配線が犠牲材料層によって第 2 配線から横方向に離されるように絶縁層上に配線パターンを設け、犠牲材料層の上面が前記第 1 および第 2 配線の上面より下に位置するように前記犠牲材料層の一部を除去し、その後前記第 1 および第 2 配線上、および犠牲材料層の上面にキャッピング材料層を設け、前記キャッピング材料層を介しての前記犠牲材料層の消耗反応により犠牲材料層の少なくとも一部をさらに除去し、第 1 配線と第 2 配線との間にキャッピング材料層によって上部境界が定義される空気誘電体を形成することを特徴とする集積回路デバイスの形成方法。

【請求項 2】前記キャッピング材料は酸化物であり、前記消耗反応が酸化プロセスであることを特徴とする請求項 1 記載の形成方法。

【請求項 3】前記犠牲材料は、炭素を含むことを特徴とする請求項 2 記載の形成方法。

【請求項 4】前記犠牲材料は、本質的に炭素からなることを特徴とする請求項 3 記載の形成方法。

【請求項 5】前記消耗反応を第 1 配線と第 2 配線の間の前記犠牲材料層のすべてを除去するまで継続することを特徴とする請求項 1 記載の形成方法。

【請求項 6】前記キャッピング材料は、第 1 配線および第 2 配線上に液体の層を供給し、固体酸化物層に硬化させることにより形成されることを特徴とする請求項 2 記載の形成方法。

【請求項 7】前記液体は H₂S (hydrogen silsesquioxane) であることを特徴とする請求項 6 記載の形成方法。

【請求項 8】前記キャッピング材料層は、スピノング (spin on process) において前記第 1 配線および第 2 配線上に液体を供給することにより形成されることを特徴とする請求項 1 記載の形成方法。

【請求項 9】前記液体内のキャッピング材料を硬化して前記キャッピング材料層を形成することを特徴とする請求項 8 記載の形成方法。

【請求項 10】前記液体はホリマー材料を含むことを特徴とする請求項 8 記載の形成方法。

【請求項 11】前記液体は酸素を含むことを特徴とする請求項 9 記載の形成方法。

【請求項 12】前記キャッピング層は第 1 配線および第 2 配線の上面をカバーし、キャッピング層は平面化されていることを特徴とする請求項 1 記載の形成方法。

【請求項 13】前記犠牲材料層をパターン化して溝を形成し、前記溝内および犠牲材料層上に金属を供給し、過剰の金属を除去して犠牲材料層内に前記配線パターンを形成することを特徴とする請求項 1 記載の形成方法。

【請求項 14】前記過剰金属の除去ステップは、化学的機械的研磨によって実施されることを特徴とする請求項 13 記載の形成方法。

【請求項 15】前記消耗反応後に、前記キャッピング材

料とは異なる組成を有するエッチング停止材料の層をキャッピング材料層上に設け、前記エッチング停止材料とは異なる組成を有する金属誘電体誘電体層を前記エッチング停止材料層上に設け、前記金属誘電体誘電体層を介してのエッチング、前記エッチング停止材料層におけるエッチングの停止、前記エッチング停止材料層を介してのエッチング、および前記キャッピング材料層を介してのエッチングによりバイアホールを形成することを特徴とする請求項 1 記載の形成方法。

【請求項 16】前記キャッピング層を介してのエッチングステップは、第 1 配線の表面を清浄化するが、キャッピング材料層の全厚みを介してはエッチングしないことを特徴とする請求項 15 記載の形成方法。

【請求項 17】バイアホールの R1 と R2 が第 1 配線上に配置されるが、バイアホールの一部は第 1 配線上に配置されないことを特徴とする請求項 16 記載の形成方法。

【請求項 18】前記金属誘電体誘電体層を介してのエッチングプロセスが、比較的に早い速度のエッチングプロセスである第 1 ステージと比較的高い選択性を有するエッチングプロセスである第 2 ステージであることを特徴とする請求項 16 記載の形成方法。

【請求項 19】前記キャッピング材料は酸化物であり、前記エッチング停止材料は炭素であることを特徴とする請求項 15 記載の形成方法。

【請求項 20】前記金属誘電体誘電体材料は酸化物を含むことを特徴とする請求項 19 記載の形成方法。

【請求項 21】個々の配線が犠牲材料によって横方向に離されるように絶縁層上に配線パターンを形成し、前記配線パターン上および犠牲材料の上面にキャッピング層を設け、前記キャッピング層を介しての犠牲材料層の消耗反応により犠牲材料層の少なくとも一部を消耗させて消耗した犠牲材料層の跡に空気誘電体を残し、前記消耗反応後にキャッピング層上にエッチング停止層を設け、エッチング停止層とは異なる組成を有する金属誘電体誘電体材料層をエッチング停止層上に設け、金属誘電体誘電体層を介してのエッチング、エッチング停止層におけるエッチングの停止、エッチング停止層を介してのエッチング、およびキャッピング層を介してのエッチングによりバイアホールを形成することを特徴とする集積回路デバイスの形成方法。

【請求項 22】前記エッチング停止層は、前記キャッピング層とは異なる組成を有することを特徴とする請求項 21 記載の形成方法。

【請求項 23】前記キャッピング層を介してのエッチングステップは、配線の表面を清浄化するが、キャッピング層の全厚みを介してはエッチングしないことを特徴とする請求項 21 記載の形成方法。

【請求項 24】前記キャッピング材料層は、第 1 配線および第 2 配線上に液体の層を供給し、酸化物を含む固体層に硬化させることにより形成されることを特徴とする

請求項2記載の形成方法

【請求項25】前記液体はHSC(hydrogen silsesquioxane)であることを特徴とする請求項21記載の形成方法

【請求項26】前記キャッピング層は酸化物であり、前記消光反応が酸化プロセスであることを特徴とする請求項21記載の形成方法

【請求項27】前記犠牲材料は、炭素を含むことを特徴とする請求項21記載の形成方法

【請求項28】前記犠牲材料は本質的に炭素からなることを特徴とする請求項21記載の形成方法

【請求項29】前記消光反応をキャッピング層の下の前記犠牲材料層のすべてを除去するまで継続することを特徴とする請求項21記載の形成方法

【請求項30】前記エッチング停止層の形成に先立ち、犠牲材料層の上面が前記配線の上面より下に位置するように前記犠牲材料層の一部を除去することを特徴とする請求項21記載の形成方法

【請求項31】前記犠牲材料は炭素であり、前記キャッピング層が酸化物であり、前記エッチング停止層が窒化物であることを特徴とする請求項30記載の形成方法

【請求項32】前記パイプホールは矩形ラックで満たされていることを特徴とする請求項21記載の形成方法

【請求項33】前記配線ラックは、第1層の配線を第2層の配線に接続することを特徴とする請求項32記載の形成方法

【請求項34】前記金属プラグは、タンブステンを含むことを特徴とする請求項33記載の形成方法

【請求項35】前記キャッピング材料層の形成ステップは、スピンオンプロセス(spin on process)において前記配線上に液体を供給することを含むことを特徴とする請求項21記載の形成方法

【請求項36】前記キャッピング材料層の形成ステップは、前記配線上に液体を供給することを含み、その液体を硬化させてキャッピング材料層が形成されることを特徴とする請求項21記載の形成方法

【請求項37】前記液体はポリマー材料を含むことを特徴とする請求項35記載の形成方法

【請求項38】前記液体は酸素を含むことを特徴とする請求項36記載の形成方法

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多層間接続構造を含む集積回路デバイスの形成に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近代の集積回路は、半導体基板上やその内部に形成される電界効果型トランジスタ(FET)あるいはバイポーラのようなデバイスと、そのデバイスと接続して形成される多層間接続構造を含む。多層間接続構造は、基板に形成されるデバイスの異なるもの同士

の間に接続を提供するものであり、集積回路の斬新な設計において重要になってきている。多くの集積回路において、多層間接続構造は、平行に延出する1個あるいはそれ以上の配線レイを含み、デバイスが密に装填されたレイにおいてデバイス間に接続を提供する。そのようなデバイスのレイは、集積回路メモリやその他の斬新な回路設計に典型的なものである。

【0003】近接して配られた平行な配線は、隣接する配線間に望ましくないレベルの容量性および誘導性の結合をもたらす。特に、平行配線のレイを介しての高いデータ送信速度に対してその影響がある。すなわち、そのような容量性および誘導性の結合は、データ送信速度を遅らせるとともにエネルギー消費を増加させ、集積回路の特性を劣化することになる。いくつかの斬新な回路設計においては、回路の層間接続構造に関するその送信速度の遅延とエネルギー消費は、回路特性において重大な問題になる。

【0004】近代の層間接続構造の複雑さは、集積回路設計においてコストがかさむ要因となっている。種々の要因が集積回路内の層間接続構造の均整のとれた費用をさらに増加させる恐れがある。例えば、上記した結合の問題を改善するために、多層間接続構造に異なる層間誘電体材料および導電体間誘電体材料を採用する提案がなされている。隣接する配線間の容量性および誘導性の結合が配線を引き離す誘電体材料によって抑えられるのである。

【0005】TFOSソースガスから化学蒸着法(CVD)によって蒸着されるシリコン酸化物のような誘電体材料は比較的高い誘電定数を有している。この誘電材料を低い誘電定数を有する誘電材料で置き換えることが提案されている。高い誘電定数を有する材料を低い誘電定数を有する材料で置き換えることにより特性が改善されるのである。理論的には最低の誘電定数はガスあるいは真空誘電体により得られる。これらの誘電体材料は、コストの上昇とプロセスの困難性という問題をかかえており、今日に至るまで十分に満足して採用されているとはいえない。

【0006】空気誘電体を使用している多層間接続構造のある有望な試みは、Amendらによる「ある実行可能なガス誘電体層間接続プロセス」(VLSI技術に関する1996シンポジウム、技術論文ダイジェスト82-83)に記載されている。その層間接続構造およびその構造を作成する方法が図1〜図5に示されている。その配線構造の概略図が図1に描かれている。図1には、種々のデバイス(図示せず)が表面に形成され、層間誘電体12により覆われた基板10が示されている。第1層の配線20、22が層間誘電体12の表面に沿って延出し、エッジキャップ32によって引き離されている。一般的な誘電体材料と比較して、エッジキャップの使用は、隣接する第1層配線(20、22)間の結合の最低レベルを保証

する。

【0007】第1層のエアキャップはその底部で層間誘電体12によって境界が定義され、その上部でシリコン酸化物層30の薄層によって境界が定義されている。第1層配線から第2層配線16に垂直に延出する層間接続部36が形成されている。第1層配線22と第2層配線16は、垂直な層間接続部36、同軸バイアホール層エアキャップ12によって垂直方向に引き離されている。エアキャップ12はその上端と下端とにおいてそれぞれシリコン酸化物の薄層30、40によって境界が定義される。これらのバイアホール層エアキャップ42は、一般的な固体誘電体材料に比較して、第1層配線(20、22)と第2層配線16との間の容量性および誘導性の結合を減少させる。同様な構成により、上端と下端とにおいてそれぞれシリコン酸化物の薄層30、40によって境界が定義されている第2層エアキャップ52は、第2層配線16間に設けられ、第2層配線間の容量性および誘導性の結合のレベルを減少させている。

【0008】図1に示されているものは、高密度集積回路設計に使用される層間接続構造に関する信号遅延およびエネルギー消費の問題の緩やかな改善している点において重要である。図1に示される構造を製造するのに使用された方法もまた重要であり、それを図2〜図5に基づいて以下に示す。すなわち、図2に示すように、デバイスが基板10の内部および基板上に所望の配置で形成され、その後、基板が層間誘電体12によってカバーされる。バイアホールが層間誘電体12を介して形成され、基板に形成されているデバイス(図示せず)への接続を提供する。第1層配線はバイアホールを満たすように形成されるか、あるいは、層間接続部と接触するように形成されるだろう。第1層配線は、修正食刻プロセス(Modified Etchback Process)により形成される。

【0009】まず、炭素の層が層間誘電体の表面に蒸着され、それから、通常のフォトリソグラフィ技術を使用してフォトリソマスク(図示せず)がその炭素層14の表面に設けられる。次に、第1層配線の配置に対応するパターンに炭素層の表面が露出される。異方向性エッチングが実施され、炭素層14に溝16が形成される。図2に示すような構造を得るためにマスクは除去される。次に、図2の構造上に金属が析出され、過剰の金属が除去されて、図3に示すような第1層配線20および22を得る。

【0010】続いて、シリコン酸化物の薄層30が第1層配線20および22上および炭素膜14の上に形成される。シリコン酸化物の薄層30は、およそ500Åの厚みにスパッタリングにより蒸着されることが好ましいとされている。次に、この構造体は酸素雰囲気を保持している炉内に放置され、およそ2時間、100〜1500°Cの温度で加熱される。この雰囲気において、炭素は容易にシリコン酸化物層30を介して拡散し、炭素膜1

4と反応して、一酸化炭素ガスを生成し、再びシリコン酸化物層30を介して拡散し外部に放出される。この熱処理を2時間行った結果、全炭素被膜14が除去され、酸化物層30と層間誘電体12の間にエアキャップ32が残り、図4に示されるように、第1層配線20と22との間がエアキャップにより分離される。

【0011】このプロセスは図5に示すような多層間接続構造を製造するために繰り返される。すなわち、炭素のバイアホール層が蒸着され、垂直層間接続が形成されるべきバイアホールの位置を決めるためパターン化される。バイアホール内の炭素が除去され、金属が堆積され、エッチバックが行われ、バイアホール内に垂直層間接続が形成される。その後、酸化物層40が炭素層上に蒸着される。炭素焼失処理が実施され、炭素層を除去し、垂直層間接続部36の間、および酸化物層30、40の間にバイアホール層エアキャップ42を形成する。

【0012】さらに、第2層において炭素層14が蒸着され、第2層の配線溝を設けるためにパターン化される。酸化物層40は垂直層間接続部36上で適切に除去される。配線溝を全幅で満たして、垂直層間接続部を介して第1層配線と接触する第2層配線46を形成する。シリコン酸化物層50(図5)は、炭素層14上にスパッタリングにより形成される。そして炭素焼失処理が実施され、第2層配線16間にエアキャップ52を形成し、図1に描かれた構造体が完成する。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】図1に描かれた構造の形成方法が、その容量性及び信頼性に関して、隣接する配線間を分離する誘電体材料として空気を使用している他の層間接続構造体の形成方法と比較される場合、それはシンプルで信頼性のあるプロセスである。しかしながら、図1の構造を形成するためのプロセスには、ある特定の製造プロセスとは両立困難な側面が存在する。高密度集積回路デバイスにとって重要なその他の要件と両立する多層間接続構造を形成する方法の提供が望まれている。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明においては、集積回路デバイスを形成するために、第1配線が犠牲材料の層によって第2配線から横方向に引き離されるように配線パターンが第1層上に形成される。犠牲材料層の上面が第1配線および第2配線の上面よりも低く位置するように犠牲材料層の一部を除去した後、キャッピング材料の層が第1配線および第2配線の上面、さらに犠牲材料層の上面に形成される。消耗反応がキャッピング材料層を介して実施され、犠牲材料層の少なくとも一部をさらに除去し、第1配線と第2配線との間にキャッピング材料層によって上部境界が定義される空気誘電体を形成する。

【0015】さらに、本発明においては、集積回路デバ

イスを形成するために、個々の配線が犠牲材料の層によって横方向に離されるように配線パターンが絶縁層上に形成される。エッチング材料層が配線パターン上および犠牲材料の上面に設けられた後、消耗反応がエッチング材料層を介して実施され、犠牲材料層の少なくとも一部が除去される。除去された犠牲材料層の跡が空気誘電体として使用される。

【0016】また、消耗反応後、エッチング材料とは異なる組成を有するエッチング停止材料の層がエッチング材料層上に形成され、エッチング停止材料と異なる組成を有する金属導体間誘電体層がエッチング停止層上に形成される。金属導体間誘電体層を介してのエッチング、エッチング停止層におけるエッチングの停止、エッチング停止層を介してのエッチング、およびエッチング層を介してのエッチングによりバイアホールが形成される。

【0017】

【発明の実施の形態】図1に描かれている従来の多層間接続構造は、その内部において隣接する配線およびその他の導体を分離する誘電体材料としてのエアギャップを使用している。エアギャップ32は、第1層の配線20および22の間に絶縁物として機能する。空氣の低い誘電率($\epsilon \sim 1$)は、両者の誘電体材料を使用している場合の誘電率($\epsilon \sim 4$)の改善をもたらす。

【0018】図1の接続構造は、高密度集積回路設計に必要とされる隣接する配線間の容量性および誘導性の結合を減少させるという効果を有する。この構造の容量性および誘導性の結合レベルは、従来の層間接続構造に比較して抑えられるので、図1の構造を含む高密度集積回路の電力消費および動作速度は改善されるだろう。しかしながら、図1の従来の接続構造には、そのような高密度集積回路への応用を妨げる一面が存在する。図1の構造は、しばしば高密度集積回路設計の特長をいえるランドレスバイアホールの形成と両立させることが困難である。

【0019】従来の図1の構造では、垂直の層間接続が形成されるべき領域において、配線を拡大することにより配線の層間接続部の形成を容易にしている。この拡大されたパッド領域(図1)にみられる。すなわち、層間接続部60が形成されている第1層配線の領域20の大きな幅を層間接続の形成とは関係のない第1層配線レベルの領域22と比較してみれば明らかである。第1層配線のそのようなパッド領域は、層間接続部60を設けるためのリソグラフィプロセスにおいて起りうるわずかな誤差を許容するためのものである。

【0020】もし、図1の構造において、第1層配線の拡大された領域が形成されなかったなら、垂直の層間接続部とその下の第1層配線部とはともに同じ寸法を有することになる。その結果、バイアスホールを形成する際に、パターンの配置のわずかなずれやその他のリソ

グラフィエラーにより、エアギャップ32の上から酸化物層30が除去されたり、あるいは、エアギャップ32上の酸化物層30が破壊されたりするだろう。そして、その後のフリーング処理時において、酸化物層の破壊を介してエアギャップ内が汚染されてしまうだろう。さらに、その後の金属析出プロセスにおいて、破壊した酸化物層を介して空気誘電体層内に金属が析出してしまい、

第1層配線間に短絡を引き起こしてしまう可能性がある。このように、図1の構造および図1の構造を形成するための方法には、ランドレスバイアホールの形成と空気誘電体層の形成とを両立させることが困難である。

【0021】パターン配置ミスやリソグラフィエラーをさけるため、必要以上に大きいパッド領域を形成することは、集積回路の設計ルールが厳まるにつれて望ましくないものになってきている。そのような拡大されたパッド領域が、設計ルールが許すかぎりであるだけ配線間を直接して配置することを始めるからである。したがって、設計ルールに適したバイアホールと配線を形成することが望まれる。これは、層間接続構造におけるランドレスバイアホールの形成が望まれていることを意味している。

【0022】本発明の主たる目的は、ランドレスバイアホールの形成と、隣接する直線間の誘電体材料としてのエアギャップの使用とを両立する多層間接続構造の形成方法を提供することである。特に、本発明の好ましい形態においては、炭素の層を蒸着し、パターン溝を形成し、パターン溝を金属で満たし、シリコン酸化物の層を金属パターン上および炭素層上に蒸着し、炭素焼失処理を実施して配線間から炭素層を除去してエアギャップを形成する。また、エッチング停止層が、金属導体間絶縁層のようなさらなる層の形成に先立って金属パターン上および酸化物層上に設けられることが好ましい。

【0023】酸化物層上にエッチング停止層を設けることにより、金属導体間絶縁層を構成する材料が何であるにかかわらず、バイアホールのランドレス領域においてバイアホールエッチングプロセスをエアギャップ内に到達させることなく、バイアホールを金属導体間絶縁層を介して酸化物層に信頼性よく形成することができる。このように、本発明に基づく方法は、高密度集積回路がバイアの形成に使用されるプロセスに馴染みやすいものである。

【0024】図6〜図9を引用して、本発明をさらに詳細に説明する。本発明に基づく多層間接続構造の形成は、図1の層間接続構造の形成に関して述べたのと類似した手法で始められる。すなわち、表面に種々のデバイスが形成されている半導体基板60が形成され、基板および種々のデバイスが中間層誘電体62によってカバーされる。中間層誘電体62は、典型的にはシリコンの酸化物であるが、例えば、CVDシリコン酸化物の単層、酸化物層とSOG(Spin On Glass)層の組み合わせ等を

使用することもできる。パイホールは、中間誘電体62を介して形成される。金属あるいはポリシリコンの内部接続が、第1層配線を形成するプロセスの一部として、あるいはそれとは別のプロセスにより設けられる。

【0025】中間誘電体62は炭素層でカバーされる。この炭素層は、例えば、メタン(CH_4)ガスあるいはアセチレン(C_2H_2)ガスを使用しての高密度プラズマCVD(HD-CVD)プロセスにより蒸着できる。この蒸着を実施するにあたって最適なシステムは、米国カリフォルニア州サンクララのApplied Material Corporation社から販売されているものが利用可能であり、詳細については省略する。炭素層64は第1層配線に最適な厚み、例えば、500Å～1200Åの厚みに蒸着される。フォトリソマスク、さらに好ましくは、シリコン酸化物あるいはシリコン窒化物からなる硬質膜のマスクが、第1層配線が形成されるべき領域において炭素層を露出させるから、炭素層64上に設けられる。

【0026】異方向性エッチングが実施され、炭素層64に溝が形成される。その後、エッチングマスクが除去される。金属が炭素層64上および溝内に供給される。第1層配線に使用される金属としては、アルミニウムや銅などの金属あるいはその合金と異なる導電材料の合金化合物を使用できる。炭素の除去により形成されるエアギャップによって分離される第1層配線およびその他の導体は、100～150℃の温度での炭素焼失プロセスに耐えるものであることが好ましい。エッチバックプロセス、より好ましくは化学的機械的研磨(CMP)プロセスのいずれかにより、炭素層64の表面から過剰な金属が除去される。それにより、図6に示される第1層配線66が得られる。第1層配線66の上面は、炭素層64の上面と面一になっていることが好ましく、これはCMPプロセスによって容易に得られる。

【0027】次に、図6の構造体を炭素焼失システム、あるいはエッチングシステムにセットし、炭素層64に酸素プラズマエッチングプロセスを施すことにより、炭素層64の一部を炭素層の上面から取り除く。その結果、図7に示すように、第1層配線の上面から数百Å後退した上面を有する炭素領域68が形成される。次に、酸化物のキャッピング層70が炭素領域68上および第1層配線66上に蒸着される。キャッピング層70は第1層配線66の側面の一部に沿って延出している。キャッピング層70を部分的に金属配線の壁に沿って延出するように形成することは、第1層配線の上面を露出するために行なわれるエッチングプロセスにおいてそのプロセスの誤差許容度を増加させる。また、このキャッピング層70は、ラードレスハイボールの形成を容易にする。

【0028】本説明においては、主に酸化よりなる炭素の焼失反応をキャッピング層70を介して実施し、誘電

炭素層68を除去して第1層配線間に図8に示すようなエアギャップ74を形成している。エアギャップが形成されたことで、キャッピング層70はエアギャップ74の上部の広がりを制限し、その後には蒸着される層を支持する。キャッピング層70は、後に蒸着される層の構造的な支持を担うための強度を有するように十分な厚みを有するとともに、焼失反応プロセスによって最適な厚みとなるように形成されることが好ましい。

【0029】先行技術(Anand et al.)において議論したように、キャッピング層70の厚みとしては、およそ0.01μm程度であることが好ましい。酸化物のキャッピング層70を形成するための特に好ましい方法としては、ポリマー材料を含む液体から析出、硬化させ、平面化された酸化物層を得るものがある。尚、この液体は酸素を含むことが好ましい。例えば、 H_2SiO_3 (hydrogen silsesquioxane)として知られる材料を、液体状態で図7の構造体上に供給し、およそ100℃の温度で約90分間酸素雰囲気中でアニールすることにより酸化物のキャッピング層70(名目上は SiO_2)が形成される。

【0030】液体 H_2SiO_3 上で加熱させ、 H_2SiO_3 を硬化させる酸化物キャッピング層70の形成方法には、酸化物層の平滑化された表面を自動的に形成することができるという長所を有する。これが、硬化前に液体ポリマー H_2SiO_3 を供給するのにスピーンオフプロセス(spin-on process)が使用される理由である。誘電体材料の層を形成するために析出させ、硬化させることができるその他のポリマー材料や液体材料、あるいは誘電体材料の層を形成するために固化させることができるその他のポリマー材料や液体材料が、 H_2SiO_3 材料の代わりに使用可能である。キャッピング層形成に使用される液体としては、飽和溶液からの材料の析出のような化学反応、あるいはプロセスが液体中に生じ、それにより材料が供給されて酸化物のキャッピング層が形成されるようなものも選択されるだろう。

【0031】キャッピング層70の平滑な表面が自然に形成されないプロセス、例えば、CVDやHD-CVDのようなプロセスによって形成されるなら、平滑な平面を形成するための平面化プロセスが実施されることが好ましい。例えば、CVD酸化物が使用されるなら、さらなるプロセスを開始する前にCVD酸化物が化学的機械的研磨(CMP)プロセスによって平面化されることが好ましい。平面化された平面は、後に行なわれるパイホールエッチングステップにおいてそのプロセスマージン(そのプロセスの誤差許容度)をさらに増加させる。

【0032】炭素焼失プロセスが酸化物キャッピング層70の下から炭素層68を除去するために実施される。例えば、この焼失プロセスは、酸素雰囲気中、400℃～1500℃の温度で酸化物層を介して炭素層の厚みを完全に消滅するのに十分な時間、例えば、1～2時間、にわたって実施される。最終的に、このプロセスによって

第1層配線66がエアーギャップ71によって隣接する第1層配線66から分離される。エアーギャップ71は上部においてキャッピング層によって境界が定義され、下部においては中間層誘電体62によって境界が定義される。

【0033】エアーギャップは第1層配線間に誘電性の孤立空間を形成し、隣接する第1層配線66の間に比較的低いレベルの容量性および誘電性の結合をなす。この実施の形態においては、炭素が犠牲材料であり、この犠牲材料は酸化物質キャッピング層を介して行われる酸化反応によって消耗除去される。酸化物質キャッピング層は、本発明においては期待される特性を兼ね備えているが、キャッピング層は過度の損傷を受けることなく、酸化消耗反応を容易に進行させることができる。犠牲材料、キャッピング層、および消耗反応については、同等的作用および効果の達成できるものであれば上記以外のシステムも利用可能である。

【0034】本明細書において使用されているキャッピング層、犠牲層および消耗反応という用語は、本発明における機能にちなんで名付けられたものである。例えば、消耗反応は、より具体的には、犠牲層をキャッピング層の下方に除去するためのキャッピング層を介しての反応を意味する。尚、本発明の特定の長所を達成するための代わりのシステムが採用可能である。例えば、フォトリソグラフィ材料が、類似のキャッピング層の使用と損失消耗反応の下で炭素犠牲材料の代わりに使用されるだろう。フォトリソグラフィ材料は本発明の多くの同じ長所を達成するだろう。

【0035】尚、総括的にみれば、炭素は汚染の程度が少ないこと、酸化消耗反応により炭素を二酸化炭素に完全に変換することから、さらに揮発性反応の副産物が少ないこと等の理由により、犠牲材料としてはフォトリソグラフィ材料よりも炭素の方が好ましいと言えるだろう。にもかかわらず、ある特定の場合には、消耗される炭素の量が少なく、消耗反応がより迅速に進行するという理由によりフォトリソグラフィ材料が採用されるだろう。

【0036】次に、図8に示すように、エッチング停止層72がキャッピング層71上に形成されるだろう。通常、エッチング停止層は、キャッピング層とは異なる組成であることが好ましい。重要な点は、エッチング停止層の上に形成される層、例えば、金属導体間誘電体層とは十分に組成が異なるようにエッチング停止層が選択されることである。エッチング停止層は、金属導体間誘電体あるいはその他の層を介して実施されるハイパールエッチングプロセスにおけるエッチングストッパーとして機能する。よく使用されるものとして、金属導体間誘電体層がシリコンの酸化物であり、エッチング停止層がシリコンの窒化物である。例えば、シリコンの窒化物であるエッチング停止層はCVD法により厚さがおよそ200Å〜500Åの範囲になるように蒸着されるだろう。

窒化物層の厚さは、最適なエッチング停止機能を提供するために必要な厚さ以上にならないように決定される。

【0037】エッチング停止層の形成過程において窒化物の蒸着がゆっくりであること、エッチング停止層72を介して穴を形成するのに必要なハイパールエッチングプロセスにおいて過剰の窒化物は不必要に長いエッチング時間を必要とすること等の理由により、過剰の厚さの窒化物の形成は望ましくない。金属導体間誘電体層が酸化物質キャッピング層と組成に関して十分に異なっているような場合、酸化物質キャッピング層がエッチング停止層として役に立つだろう。金属導体間誘電体材料として酸化物が使用される場合、酸化物質キャッピング層と共にシリコン窒化物エッチング停止層を使用することが望ましい。

【0038】エッチング停止層を蒸着した後、追加の配線層が第1層配線としてエアーギャップを形成するのに行なったのと同様な手法を繰り返すことにより形成されるだろう。すなわち、エッチング停止層は炭素層によってカバーされ、炭素層は配線形成のためにパターニングされ、さらなるプロセスが上記と同様の手法に基づいて進む。したがって、金属導体間誘電体、ハイパール、垂直結合部および第2層配線を形成するためのプロセスについては、以上の説明で十分に理解されよう。尚、種々のエアーギャップ、炭素あるいはその他の材料が、第1層配線と第2層配線との間を接続するための垂直接続部が形成される金属導体間誘電体層中に含まれても良いことを留意すべきである。

【0039】図8に示されるように、金属導体間誘電体層73は、例えば、TEOSソースガスからシリコンの酸化物を合成するCVD法により、エッチング停止層72の表面上に蒸着される。例えば、従来のフォトリソグラフィによってエッチングマスクになるように形成されるフォトリソグラフィ層を設けることにより、ハイパールマスクが金属導体間誘電体層73上に設けられる。ハイパールエッチングはLAMレインボー(LAM Rainbow)システムを含む多くの誘電体エッチング剤の使用により実施されるだろう。

【0040】酸化物質と酸化物との間のエッチングプロセスの選択性をエッチング剤が制御しやすいという理由でLAMレインボーシステムを使用することは特に好ましい。これは、良好なプロセス制御性を保ちながら、一連の連続するプロセスステップを採用している単一のプロセスシステムにおいて、ハイパールエッチングの種々のステップを実行するのに有利である。ハイパールエッチングは、エッチング剤により金属導体間誘電体層を介して行なわれる。使用されるエッチング剤は、金属導体間誘電体層を介してのハイパールエッチングの少なくとも最終段階において、エッチング停止層を包摂的にエッチングすることなく、酸化物を選択的にエッチングすることから好ましい。

【0011】比較的高いエッチング速度であるが選択性の低いエッチングプロセスがバイアホールエッチングプロセスの初期段階として行われ、それに続いて選択性が向上されエッチング速度を遅くしたエッチングプロセスを第2段階として行なうことも好ましい。例えば、第1段階として、高速で低選択性のバイアホールエッチングプロセスが、下を含むソースガスのプラズマを使用して実施され、第2段階では、低速でより選択性の高いエッチングプロセスが、下、あるいは下を含むガスを使用して実施される。バイアホールエッチングプロセスの第1段階は、金属導体間誘電体層を介して部分的にエッチングするのにも使用され、エッチングプロセスがエッチング停止層に近づく前に中止される。バイアホールエッチングプロセスはそれから選択性の高いエッチングにより継続され、エッチング停止層において停止される。上記以外の最適なエッチングシステムがこの技術分野に従事している者には知られており、それらについても利用可能である。

【0012】金属導体間誘電体層76が厚みのばらつきを有するとともに、固定された時間のエッチングプロセスの結果を予測不可能で信頼性の乏しいものにするようなエッチング特性のばらつきを有するため、エッチング停止層を設けることと適切なエッチングシステムを採用することがバイアホールエッチングを実施するにあたって重要である。バイアホールを完成させるためには、その後のエッチングステップは、より薄い層を介して進行する。この薄い層を介してのエッチングは、薄い金属導体間誘電体層を介してのエッチングプロセスの場合よりもより注意深く制御される必要がある。さらに、エッチング停止層とキャッピング層は平面化されているので、実施されるエッチングプロセスは、膜厚にばらつきのある金属導体間誘電体層に対して行なうよりも予測可能で均一なものとなる。

【0013】バイアホールが第1層配線66に向かって垂直に延出するように金属導体間誘電体層76を介して形成された後、バイアホールエッチングがエッチング停止層72とキャッピング層74を介して第1層配線66の表面に達するように継続される。酸化剤のエッチング停止層72に関しては、このエッチング停止層は酸化剤エッチング剤、たとえば、 H_2O ソースガスから得られるプラズマの使用により除去される。酸化剤キャッピング層74の一部は、バイアホール内において、通常の酸化剤エッチング剤を使用して一定時間のエッチングプロセスにより除去される。薄い、平面化された酸化剤キャッピング層74を介してこのエッチングは、制御が容易であり、配線66の表面を十分に清浄化することがキャッピング層74を介して完全にエッチングすることを経るよう進行する。図1においては、バイアホールのほとんどが第1配線66上に配置されているが、バイアホールの一部は第1配線66上に配置されない1

うな構造になっている。

【0014】本発明において、第1層配線の壁に沿って下方に部分的に延出するキャッピング層の形成は、バイアホールエッチングプロセスを完成させるのに十分なマージンを提供する。換言すれば、バイアホールエッチングプロセスを行なう位置に多少の誤差が発生しても、キャッピング層が破損して、バイアホールとエアギャップ74が連通してしまうような不良を防ぐのに十分な誤差許容性を提供できるのである。すでに説明したように、この構造上の特徴は、キャッピング層の蒸着に先だって金属蒸着層の一部をエッチバックするか、あるいは第1層配線の側壁の一部を露出させるために炭素層の上面を凹ませることにより得られる。

【0015】プロセスはバイアホールが形成された後も続き、配線66の表面が浄化され、バイアホールを満たすために金属フラグ78が形成される。金属フラグ78は、金属層78として形成されることが好ましいが、WFO.をソースガスとするCVDプロセスによりタンクステンで形成されてもよい。多くの場合、フラグ形成は、チタンや窒化チタンのような接着剤あるいは接着層をバイアホール内および金属導体間誘電体層76の表面上に形成することから成り立ち、スハックリングあるいはCVDプロセスにより接着剤あるいは接着材料が形成された後、タンクステンがCVDプロセスに供給され、バイアホール内がタンクステンプラズマで満たされる。そして、化学的機械的研磨(CMP)あるいはエッチバックプロセスを行なって、タンクステンプラズマの垂直延出部を形成するとともに、金属導体間誘電体層76の表面から過剰のタンクステンを除去する。この研磨あるいはエッチバックプロセスは接着剤層の不必要な部分を除去するためのものである。

【0016】さらなるプロセスが、図1に示される直線80のより全層2層配線を形成するために続けられる。第2層配線は、ブランクシート金属蒸着および通常のフォトリソグラフィあるいは食刻プロセス(damascene process)により形成されるだろう。本発明は、好ましい実施の形態を説明するためのものであり、このプロセスおよび構造への変更および修正が本発明の基本技術を変更することなくこの技術分野に従事する者によって実施されるだろう。例えば、本明細書では、発明を理解しやすくするための簡潔な第1層配線と第2層配線の形成について説明を行なっているが、本発明は、多層間接合構造のすべての層あるいはそのうちのいくつかについても同様に当てはまるものである。このように、本発明は特定の実施例に限定されるものではなく、本発明の範囲は特許クレームから決定されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、隣接する配線を分離する誘電体材料としてエアギャップを含む従来の多層間接合構造を示す概略図である。

【図2】図2は、図1の多層間接続構造の形成方法を示す概略図である。

【図3】図3は、図2の後に実施される多層間接続構造の形成方法を示す概略図である。

【図4】図4は、図3の後に実施される多層間接続構造の形成方法を示す概略図である。

【図5】図5は、図4の後に実施される多層間接続構造の形成方法を示す概略図である。

【図6】図6は、本発明の実施例に基づいた層間接続構造の形成方法を示す概略図である。

【図7】図7は、図6の後に実施される多層間接続構造の形成方法を示す概略図である。

【図8】図8は、図7の後に実施される多層間接続構造

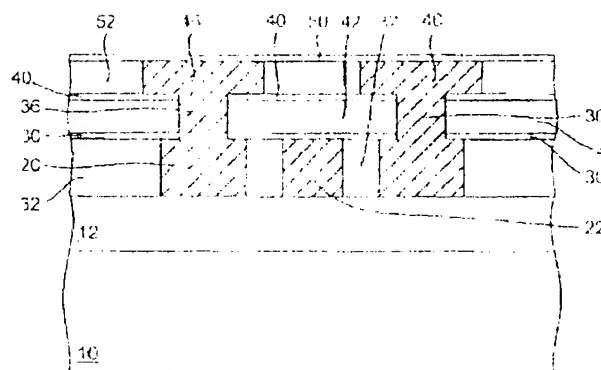
の形成方法を示す概略図である。

【図9】図9は、図8の後に実施される多層間接続構造の形成方法を示す概略図である。

【符号の説明】

- 60 半導体基板
- 62 中間層誘電体
- 64 第1 層配線
- 71 エアギャップ
- 72 キャッチング層
- 73 エッチング停止層
- 76 金属導体間誘電体層
- 78 金属プラグ
- 80 第2 層配線

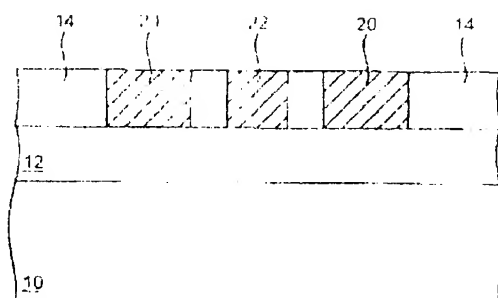
【図1】



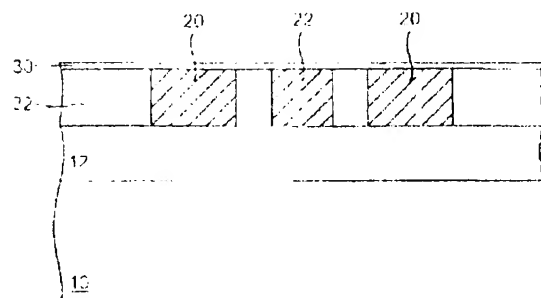
【図2】



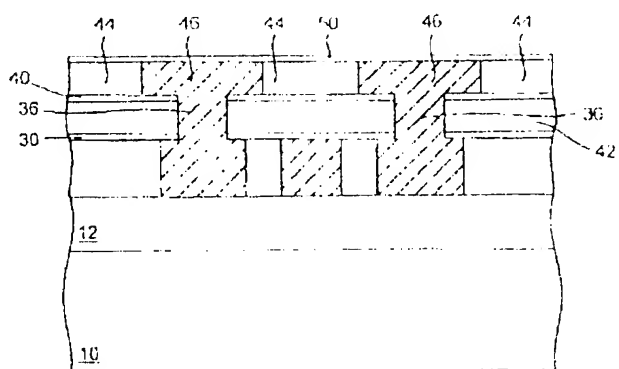
【図3】



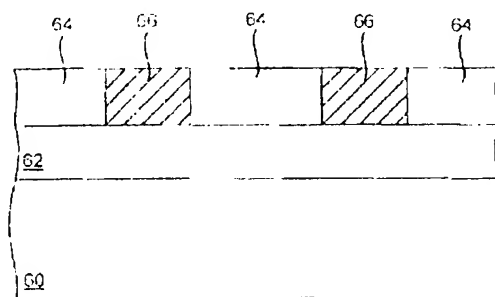
【図4】



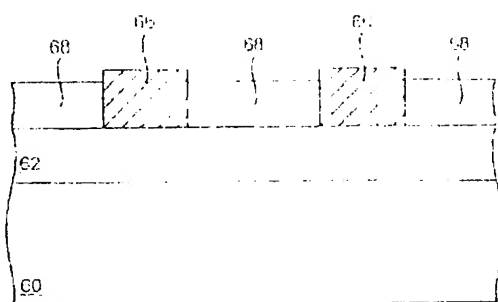
【図5】



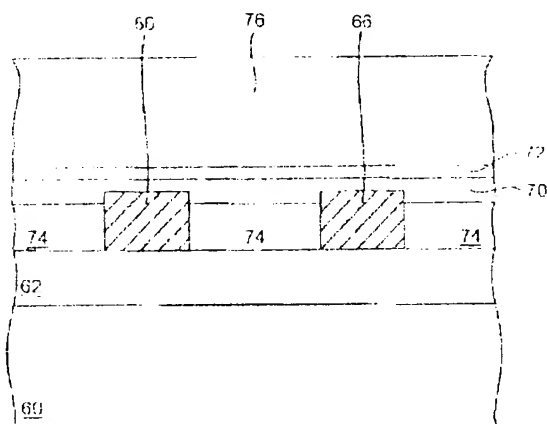
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

